

24. Jeannin Y. What is a mole?: old concepts and new (continued) // Chem. Int. 2010. V. 32. N 1. P. 8—11.

25. Steiner R., Williams E. R., Newell D. B. Towards an electronic kilogram: an improved measurement of the Plank constant and electron mass // Metrologia. 2005. V. 42. P. 431—441.

26. Wulf M., Zorin A. B. Error accounting in electron counting experiments // arXiv. 0811.3927.

27. Калинин М. И., Кононогов С. А. Переопределение единицы термодинамической температуры и международная система единиц (СИ) // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 1. С. 26—29; Kalinin M. I., Kononogov S. A. Redefinition of the Unit of Thermodynamic Temperature in the SI System // High Temperature. 2010. V. 48. P. 23—28.

28. BIPM 2010. CCT Recommendation T2 [Офици. сайт]. <http://www.bipm.org> (дата обращения: 24.10.2012).

29. Leonard B. P. Why the dalton should be redefined exactly in terms of the kilogram // Metrologia. 2012. V. 49. P. 487—491.

30. Steele A. G. e. a. Reconciling Planck constant determinations via watt balance and enriched-silicon measurements at NRC Canada // Metrologia. 2012. V. 49. P. L8—10.

31. Hill T. P., Miller J., Censullo A. C. Towards a better definition of the kilogram // Metrologia. 2011. V. 48. P. 83—86.

32. Fraundorf P. A multiple of 12 for Avogadro // arXiv. 1201.5537.

Дата принятия 20.11.2012 г.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

519.6

Оценка внешних воздействий на состояние динамических объектов

О. Н. НОВОСЕЛОВ

Московский государственный университет леса, Москва, Россия, e-mail: onn@mgul.ac.ru

Представлен метод анализа внешних воздействий на состояние динамического объекта, идентифицированного уравнением эволюции состояния. Одно из важных применений — выработка стабилизирующего воздействия на природный объект для предотвращения катастрофы.

Ключевые слова: динамический объект, стабилизирующее воздействие, уравнение эволюции состояния, поле решений.

The method of analysis of exposure on the state of dynamic object identified by the equation of state evolution is presented. One of the important applications — the development of stabilizing exposure upon natural object for catastrophe prevention.

Key words: dynamic object, stabilizing exposure, state evolution equation, solution field.

Методы идентификации, разработанные в [1], позволяют контролировать состояние динамического объекта в процессе функционирования в естественной среде, чтобы принять надлежащие меры в случае опасного приближения к критическим границам. Одна из таких мер — управляющее внешнее воздействие для возвращения объекта в устойчивое состояние. Например, в геофизике в качестве такого воздействия рассматривалась длительная упругая волна, создаваемая мощным вибратором, препятствующая блокировке природных блоков в граничных структурах геологической среды для предотвращения землетрясения [2, 3].

Однако подходящей теории для обоснования видов управляющих воздействий и оценки их результативности применительно к произвольным объектам пока не существует. Чтобы решить эту задачу, предлагается практический метод, универсальный для любых объектов. Он основан на новом математическом описании динамического объекта в форме разностного уравнения эволюции состояния [1]. Для

построения уравнения необходимы только измеряемые параметры и не требуются сведения о специфике объекта. Это придает черты универсальности математическому описанию и полученному на его основе методу оценки внешнего воздействия на состояние динамического объекта.

Метод анализа. В отсутствие воздействия будем представлять объект однородным разностным уравнением эволюции состояния. Для практических целей можно остановиться на уравнении 2-й степени и 2-го порядка [1]:

$$x_{k+2} = ax_{k+1} + bx_k + cx_{k+1}^2 + dx_k^2, \quad (1)$$

где x_k — измеряемый параметр объекта; $k = 0, 1, 2, \dots$ — дискретное время измерений; a, b, c, d — индивидуальные для различных объектов коэффициенты, которые оцениваются по последовательности значений x_k измеряемого параметра [4]; x_0, x_1 — зарегистрированные начальные значения.

Контрольным показателем является состояние объекта. Численно оно характеризуется коэффициентами a, b , которые определяют точку на поле решений уравнения (1). В зависимости от ее местоположения состояние можно классифицировать как устойчивое (точка находится в области сходящихся решений), неустойчивое (в области незатухающих колебаний), катастрофическое (в области расходящихся решений).

Объект, испытывающий воздействие y_{k+1} ($k = 0, 1, 2, \dots$), математически представляли в виде неоднородного разностного квадратичного уравнения 2-го порядка, полученного из (1) включением воздействия в его правую часть:

$$x_{k+2} = ax_{k+1} + bx_k + cx_{k+1}^2 + dx_k^2 + gy_{k+1}, \quad (2)$$

где g — коэффициент внешнего воздействия, задаваемый в эксперименте.

Анализ проводили путем компьютерного моделирования при помощи новой версии программы «AnDynSys» с дополнительной подпрограммой генерации внешних воздействий [5]. В (2) вводятся численные значения коэффициентов и воздействие y_{k+1} ($k = 0, 1, 2, \dots$). Генерируется последовательность, которая рассматривается как измерения на объекте, испытывающем внешнее воздействие. По этой последовательности заново вычисляются коэффициенты в (1), поле решений и точка фактического состояния — все они теперь характеризуют объект, испытывающий внешнее воздействие.

Результатом управляющего воздействия должно быть достижение поставленных целей. Одна из них — перевод объекта из неустойчивого и особенно катастрофического состояния в устойчивое. По проведенным экспериментам необходимо установить, можно ли добиться изменения критического состояния объекта (1) при искусственном внешнем воздействии и какой тип воздействия наиболее результативен при наименьшем коэффициенте g .

Численные эксперименты. Были использованы шесть видов воздействий y_{k+1} :

гармоническое $\sin(kT + w)$; выбираются T, w ; $k \geq 0$;

хаотическое $4y_k(1 - y_k)$; $y_0 = 0,14$;

случайное от датчика случайных чисел с равномерным распределением от 0 до 1; $y_1 = 0$;

почти периодическое $0,9y_k - y_{k-1} + y_k^2$; $y_0 = -0,001$; $y_1 = 0,5$;

фиксированное y_0 , $k = 0, 1, 2, \dots$;

импульсное $y_{k_n} = y_{k_k} = 1$, задаются начало k_n и конец k_k импульса, длительностью $k_k - k_n$.

Варьируя только коэффициент g , так как все воздействия были приведены к одинаковой амплитуде, находим минимальное по модулю значение g , при котором достигается перемещение точки состояния из катастрофической области в область сходящихся решений. Аналогично повторяем эксперименты для других видов воздействий. Было проведено более 100 экспериментов при вариации параметров уравнения (1).

Результаты экспериментов. Установлена принципиальная возможность перевода объекта из катастрофического состояния в устойчивое при помощи управляющего внешнего воздействия подходящего вида. На рис. 1 показано поле

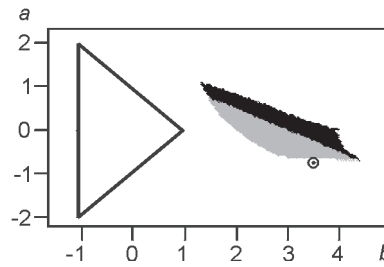


Рис. 1. Катастрофическое состояние объекта: точка состояния (обведена кружком) находится в области расходящихся решений (белое поле). Треугольник — поле решений при линейной модели объекта ($c = d = 0$)

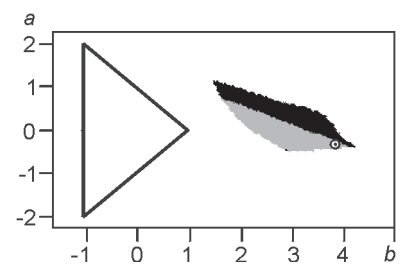


Рис. 2. Результат стабилизирующего фиксированного внешнего воздействия. Объект переведен из катастрофического состояния в устойчивое: точка состояния находится в серой области

решений уравнения для объекта, находящегося в катастрофическом состоянии: точка состояния, обведенная кружком, находится в области расходящихся решений (белое поле). Серым цветом выделена область сходящихся решений (устойчивых состояний), черным — область незатухающих колебаний (псевдошумовых и циклических). В черной области состояния неустойчивые. Обе области рассчитаны для уравнения (1) с параметрами $a = -0,8$, $b = 3,5$ (координаты точки состояния объекта), $c = 0$, $d = 1$, $x_0 = -2$, $x_1 = -1$.

На рис. 2 показано поле решений уравнения эволюции состояния того же объекта при стабилизирующем воздействии. Теперь точка состояния располагается в области сходящихся решений (серая область): объект находится в устойчивом состоянии. Внешнее воздействие — фиксированное при $y_0 = 1$ с коэффициентом $g = -1$. Состояние объекта, подвергшегося этому воздействию, описывается уравнением (1) с новыми параметрами: $a = -0,3596$, $b = 3,9170$, $c = 0,0942$, $d = 1,0883$, $x_0 = -2$, $x_1 = -1$.

Наиболее результативным среди рассмотренных видов внешних воздействий оказалось фиксированное: стабилизация в проведенных экспериментах достигалась при наименьшем (по модулю) g . (Все воздействия приводились к единичной амплитуде.)

Установлено, что не во всех катастрофических состояниях объект поддается стабилизации (по крайней мере, рассмотренными видами воздействий). Такая возможность су-

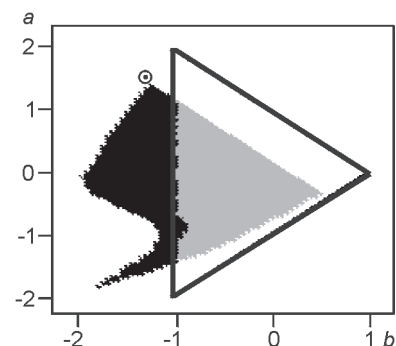


Рис. 3. Пример катастрофического состояния, не поддающегося стабилизации ни одним из рассмотренных видов внешних воздействий

щественно зависит от значений x_0 , x_1 процесса в начале воздействия. На рис. 3 показано поле решений уравнения эволюции состояния одного из реальных объектов в катастрофическом состоянии [3]. При фактических начальных значениях $x_0 = 1,736$, $x_1 = 1,724$ и коэффициентах $a = 1,509602$, $b = -1,279645$, $c = 0,065652$, $d = 0,378055$ в (1) стабилизации не удалось достичь ни с одним из рассмотренных видов воздействий. Однако при замене начальных значений на $x_0 = 0,736$, $x_1 = 0,724$ стабилизация состоялась при фиксированном воздействии ($y_0 = 1$, $g = 0,3$). В реальных условиях постоянного контроля измеренных значений процесса такого результата можно было бы добиться выбором момента начала воздействия, поскольку на любом шаге k два соседних значения последовательности x_k , x_{k+1} можно рассматривать как начальные для последующих шагов.

В заключение отметим, что, как показали эксперименты, одни и те же виды воздействий могут привести не только к стабилизации, но и дестабилизации в зависимости от состояния объекта и значения коэффициента воздействия. Предлагаемый метод позволяет решать задачи математического анализа динамических объектов, описываемых неоднородными нелинейными уравнениями, которые до сих пор не имеют аналитических методов решения.

Литература

1. Новоселов О. Н. Идентификация состояния динамических объектов по измеряемым параметрам: от теории к практике // Измерительная техника. 2010. № 2. С. 20—24; **Novoselov O. N.** Identification of The State of Dynamic Objects From Measured Parameters. From Theory to Application // Measurement Techniques. 2010. V. 53. N 2. P. 142—148.
2. Гусев Г. А., Гуфельд И. Л. Сейсмический процесс в предельно энергонасыщенной геологической среде и прогноз землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 71—78.
3. Gufeld I. L., Matveeva M. I., Novoselov O. N. Why we cannot predict strong earthquakes in the Earth's crust // Geodynamics & Tectonophysics. 2011. V. 2. Iss. 4. P. 378—415.
4. Новоселов О. Н. Идентификация и анализ динамических систем: монография. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса. 2010.
5. Свид-во об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2012614516 «AnDynSys» / А. В. Афанасьев, В. В. Афанасьева, О. Н. Новоселов (RU) // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. 2012. № 3 (80). С. 341.

Дата принятия 22.10.2012 г.

НАНОМЕТРОЛОГИЯ

538.911

Особенности применения упорядоченных пленок молекул фуллеренов для калибровки сканирующих туннельных микроскопов при измерении геометрических параметров объектов

А. Ю. КУЗИН*, П. А. ТОДУА*, В. И. ПАНОВ**, А. И. ОРЕШКИН**

* Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума, Москва, Россия, e-mail: fgupnicpv@mail.ru

** Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: spm@spmlab.phys.msu.ru

Продemonстрирована возможность использования упорядоченных пленок молекул фуллеренов в качестве эталонных объектов для калибровки сканирующих туннельных микроскопов.

Ключевые слова: сканирующий туннельный микроскоп, фуллерен, калибровка, реконструкция кремния.

The possibility of application of ordered films of fullerene molecules as reference samples for scanning tunnel microscope calibration has been demonstrated.

Key words: scanning tunnel microscope, fullerene, calibration, silicon reconstruction.

Прогресс в развитии нанотехнологий требует обеспечения единства измерений в нанометровом диапазоне, а также разработки новых и усовершенствования существующих методов измерения характеристик материалов и диагнос-

тики процессов в низкоразмерных системах. Методы диагностики процессов, учитывающие специфику объектов нанометровой геометрии, являются неотъемлемой частью нанотехнологий. В этой связи представляется крайне важ-